第38卷 第4期
2021年7月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 4
Jul. 2021

玛曲高寒草甸风沙环境与沙化类型研究

安志山[1,2]， 史博源[3]， 谭立海[1]， 张 凯[3]， 张克存[1]

（1. 中国科学院西北生态环境资源研究院，沙漠与沙漠化重点实验室，敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站，甘肃 兰州 730000；2. 中国科学院大学，北京 100049；3. 兰州交通大学创新创业学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：玛曲县高寒草甸沙化是青藏高原地区发生沙化的典型案例，其成因、趋势和治理一直受到极大关注。利用三维激光扫描仪，结合野外监测和室内分析等方法，揭示了区域风沙环境，结合区域沉积物粒度与形态特征，依据沙物质来源复杂程度将沙化类型划分为风蚀坑沙化类型和复杂沙化类型。结果表明：区域全年输沙势为164.34 VU，合成输沙势为91.57 VU，合成输沙方向132.37°，风向变率0.56，属于中比率低风能环境。综合风蚀坑沙化类型周边风蚀坑与积沙区的长度比、体积比、长轴线、与区域主风向吻合程度及沉积物粒度特征，可知风蚀坑是该沙化类型区域积沙的主要贡献者。在现代沙化过程中，复杂沙化类型除周边风蚀区、活化沙丘以及沙化草地等为区域积沙贡献沙物质外，黄河河道也为区域积沙提供一定量的沙物质。

关键词：玛曲；高寒草甸；三维激光扫描仪；沙化过程；形态参数

作为我国“两屏三带”中的重要组成部分，青藏高原不仅奠定了我国现代季风气候的基础，同时构筑了我国生态安全的重要屏障，亦是我国乃至国外众多河流的源头。玛曲县地处青藏高原东南缘，区域内水草丰美，拥有大面积优良牧场，是青藏高原生态系统的重要组成部分，同时也是黄河上游重要产流区、水源涵养区和水源补给区。

自工业革命以来，随着人类活动增强，大量温室气流排放，造成全球气候变暖[1]。在此背景下，青藏高原作为生态脆弱区，对气候变化反映异常敏感，具体表现为区域地表径流减少、地下水位降低、植被破坏、草场退化和水土流失等[2]。此外，随着区域经济增长和人类物质水平需求的增高，人地矛盾突出，包括人口快速增加、过度放牧、不合理的草场利用方式所导致的退化和沙化，严重制约区域资源可持续利用和经济发展，危害黄河上游生态安全，甚至威胁下游水利设施[3-4]。鉴于此，众多学者针对区域沙化过程及机理开展研究，详述区域高寒草甸沙化成因、分布与类型，辨识区域沙化主导因素[5-6]。利用遥感影像解译和野外调查，依据海拔高度和坡度将其划分为河谷沙丘和丘陵沙丘，呈带状、局部集中连片和不连续块状零散分布，沙化成因包括固定沙丘/古沙丘活化、滑塌陡坎及风蚀斑块[7-9]。针对沙源研究包括利用粒度和矿物分析方法，揭示玛曲古风成沙来源主要是河流阶地[10]，现代河流冲积物也提供了一定数量的沙物质，但总量较少[5]。上述研究已然明晰区域沙化成因及物质来源，但存在的问题是区域沙化类型特征尚未详尽揭示、区域沙物质贡献不明等，不利于指导后期防沙治沙。截止目前现代风沙工程中沙源判定由于研究方法和技术限制仍无法较好解决，造成现有防沙治沙工程存在盲点或针对性不突出，防护效益并未最优化。

鉴于此，找寻新方法并从新角度明确区域典型沙化类型特征、解决区域沙源判别的工作仍待进一步深入。本文利用三维激光扫描仪，结合野外考察和室内分析等传统测试分析方法将区域沙化类型特征进一步细分，不仅为玛曲高寒草甸后期防沙治沙工程提供有利参考，亦可为沙源判别提供一种新

收稿日期：2021-01-06； **修订日期：**2021-04-23

基金项目：国家重点基础研究发展计划“高寒湿地、草地生态系统演变及草地沙化过程与机理”（2017YFC0504801）；国家自然科学基金“垭口、山前丘陵地段风动力环境与敦格铁路沙害形成机理研究”（41871016）共同资助

作者简介：安志山（1986-），男，高级工程师，博士研究生，主要从事风沙灾害与防沙工程研究. E-mail: an1986wen@163.com

通讯作者：张克存. E-mail: kecunzh@lzb.ac.cn

思路和新方法。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

玛曲县隶属于甘肃省甘南藏族自治州，地处青藏高原东端，连接着甘肃、青海和四川三省，全县总土地面积90.98×10⁴ hm²。黄河从自治州西部木西合乡入境，环绕后流入青海。境内海拔3300~4806 m，土壤类型包括高山草甸土、亚高山草甸土、草甸土、泥炭土、沼泽土和暗棕土[3,7-8]。区域气候属于典型高原大陆性季风气候，年均降水量615.5 mm，年均蒸发量1353.4 mm，年均温1.2 ℃，最冷月1月，最热月7月。区域内自然植被类型包括草原化草甸、高寒草甸和高寒灌丛等，其中高寒草甸是分布面积最广的植被类型[3,7-8]。

研究区位于玛曲县城黄河南岸，参照前人研究成果[3,7,9]，本文依据区域沙物质来源复杂程度将沿黄带状沙化地分为风蚀坑沙化类型和复杂沙化类型。其中，复杂沙化类型特点是区域内沙丘集中连片分布，面积较大，沙化成因包括固定/古沙丘活化和滑塌陡坎等，区域积沙体来源包括活化沙丘、沙化草地、风蚀洼地等。风蚀坑沙化类型面积较小，周边被高寒草甸包围，沙丘孤立，积沙体上风向有一轮廓清晰的巨型风蚀坑(图1)。



图1　研究区位置示意图

Fig. 1　Location map for the study site in Maqu County

1.2　研究方法

采用野外定位观测和室内分析相结合方法获取数据。首先，在研究区典型位置架设全自动气象仪(33°55′0.83″N，102°9′8.09″E)(图2)，仪器型号HOBO U30，获取区域风速、风向、气温和空气湿度，风速风向传感器架设高度距地表2.0 m，气温和空气湿度传感器架设高度1.5 m，采集时间步长5 min。其次，使用三维激光扫描仪对区域内流动沙丘、风蚀坑以及周边区域进行扫描，仪器型号RIEGL VZ2000，最远测距可达2500 m，单次测量精度5 mm@100 m，重复测量精度3 mm@100 m，水平扫描角度0~360°，垂直扫描角度100°。样品粒度测试采用Mastersizer 3000激光粒度仪，每个样品测量2次，取平均值，采用Folk-Ward图解法计算粒径及分选参数。

2　结果分析

2.1　平均风速

如表1所示，最大月平均风速出现在5月，为3.06 m·s^{-1}，最小月平均风速出现在10月，为1.78 m·





图2　观测仪器

Fig. 2　Observation apparatus in the study site

表1 月平均风速和起沙风

Tab. 1 Monthly mean wind speed and sand wind

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均风速	2.24	2.74	2.75	3.05	3.06	2.54	2.2	2.03	1.95	1.78	2.19	2.27	2.4
>5 m·s^{-1}	7.13	7.74	6.62	6.73	6.42	6.2	5.91	6.26	5.85	5.85	6.62	7.48	6.57

s^{-1}。分析月平均风速变化趋势可知,9月和10月平均风速较小,之后波动上升,至次年4月取得最大值3.06 m·s^{-1}。起沙风是沙粒起动需要的最小风速,对于沙粒启动和运移有着至关重要的作用,是风沙理论研究和风沙工程设计中不可或缺的参数,更是衡量一个地区风沙活动强度及风沙地貌演变过程重要标准[2]。与月平均风速变化趋势相比,月平均起沙风速变化趋势略有差异,具体表现在9月至次年2月期间月平均起沙风速增加,2月达到峰值7.74 m·s^{-1},之后逐渐减小。

2.2 输沙势

输沙势(drift potential,简写为DP)是衡量区域风沙活动强度及风沙地貌演变的重要指标,反映了区域潜在输沙能力,按矢量单位计算[2],依据Fryberger[11]提出的计算方程(图3),可知区域全年输沙势164.34 VU,合成输沙势91.57 VU,合成输沙方向132.37°,属于低风能环境,风向变率0.56,属于中比率环境。进一步分析可知区域内存在两组主导风向,一组风以西和西北方向为主,输沙势较大,另一组为北、北北东和东风为主,输沙势小于前者,两组风向之间呈锐角分布。

2.3 风蚀坑沙化类型

风蚀坑形状常被用于风蚀坑的类型划分,Hesp依据几何形态将其分为3种类型:槽型风蚀坑、碟形风蚀坑和碗形风蚀坑3大类[12-15],国内学者结合本身研究区域进一步将其细分[16-17]。本文研究区域内的风蚀坑长159.25 m,宽124.33,深9.46 m,长宽比值为1.28:1,属于卵圆形巨型风蚀坑(图4)。风蚀坑轴线307.42°,与合成输沙方向相差4.95°。风蚀坑侵蚀入口有2个,均位于西北方向,坑体底部中心位置有风蚀残垣存在。四周为陡峭侵蚀壁,侵蚀壁底部有大量掉落的松散沙物质。分析侵蚀壁形态可知东北和西南侵蚀坡壁较西北和东南陡,原因是由于区域主导风向是西北风,气流自风蚀坑西北角进入,东南侧溢出,气流在行进过程中,对东北侧和西南侧坡壁掏蚀,由于风蚀坑周边为古河道沉积物,沙粒占比较高,粘结性差。经风力掏蚀后,在重力

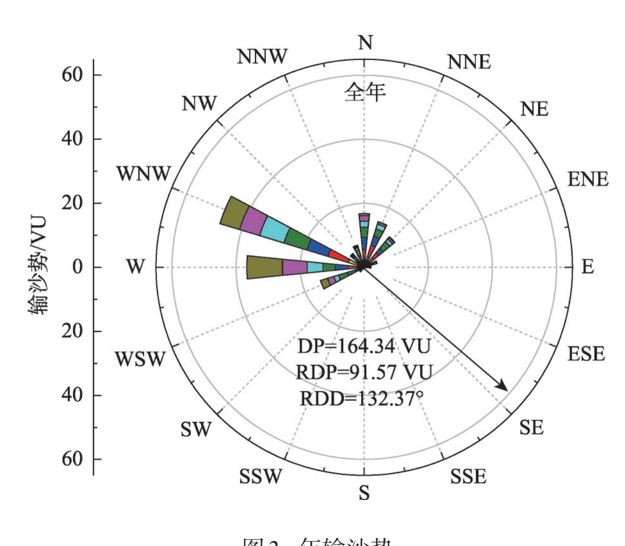


图3 年输沙势

Fig. 3 Drift potential during the observation period

作用影响下发生崩塌,不仅造成两侧坡壁的陡立,更加剧周边沙化草地的退化。风蚀坑出口是由缓变陡的倾斜坡面,风蚀碎屑在风力作用下从此处迁移出风蚀坑。积沙区域位于风蚀坑东南方向,长358.7 m,宽206.49 m,高3.6 m,长宽比为1.74:1。分析风蚀坑长度和积沙区长度比为1:2.8,完全符合风蚀坑长度和积沙体积长度的比值及特征[12-13,18]。

以周边未风蚀高寒草甸为参考面,计算风蚀坑体积为5.1×10^4 m^3,积沙体体积为4.5×10^4 m^3,小于风蚀坑体积,两者相差0.6×10^4 m^3。分析风蚀坑和积沙体粒度组成(表2)可知:与风蚀坑内部沉积物相比,积沙区沉积物的粗沙和中沙比例较风蚀坑大,极细沙、粉沙和黏土比例较风蚀坑小。综合两者体积差值可以推断,在风蚀物质运移过程中,细物质被吹蚀并搬运到更远处,粗物质存留或运移距离较短,故积沙区沙体积小于风蚀坑体积。综合风蚀坑形态、体积及沉积物粒度特征,可知风蚀坑是区域积沙的主要贡献者。

2.4 复杂沙化类型

与风蚀坑沙化类型相比,复杂沙化类型分布面积较大,沙化成因包括固定沙丘/古沙丘活动和滑塌等,沙化过程复杂多样。利用三维激光扫描仪对实验区进行扫描测量,获取复杂沙化类型在典型风况

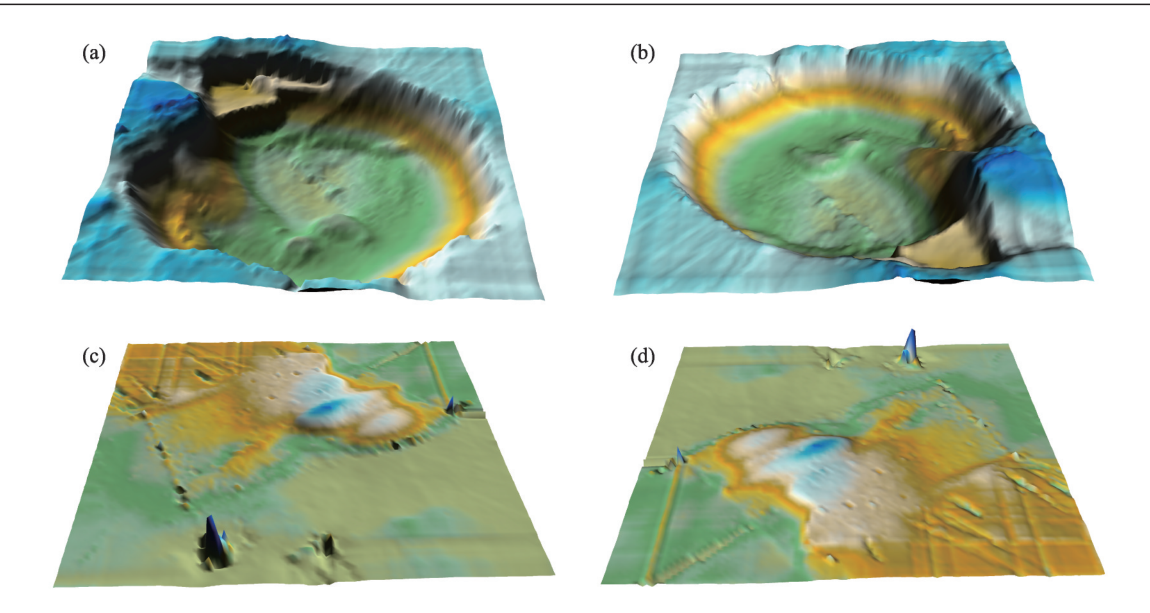


图4 风蚀坑沙化类型

Fig. 4 Type of blowout desertification

表2 沉积物粒度分布

Tab. 2 Grain size of sediment in the in-situ sand accumulation

类型	编号	粒径/mm					
		粗沙 0.5~1	中沙 0.25~0.5	细沙 0.125~0.25	极细沙 0.063~0.125	粉沙 0.002~0.063	黏土 <0.002
积沙区	1号	0.59	23.63	50.65	18.62	5.27	1.25
	2号	0.95	27.20	50.35	14.94	5.16	1.39
	3号	1.27	27.56	46.48	16.14	7.11	1.44
	4号	1.67	24.83	48.92	19.15	4.52	0.91
风蚀坑	1号	0.00	15.20	51.26	25.33	6.97	1.24
	2号	0.61	20.27	51.00	21.69	5.33	1.10
	3号	0.22	15.88	45.87	26.04	10.00	2.00
	4号	0.00	10.86	42.57	33.47	12.22	0.87

前后的变化特征，如图5所示。监测区域面积约2 km^2，以周边尚未沙化的高寒草甸高程为基准面，计算其上下堆积及风蚀体积。经测算，基准面以上沙物质体积为6.1×10^5 m^3，基准面以下沙物质体积为4.5×10^5 m^3，两者相差1.6×10^5 m^3，即区域内沙物质堆积量大于风蚀量。造成此现象的原因有二：一是原来压实的沙物质被风吹蚀后变成松散沙物质，孔隙度增加，体积增加；二是区域内除周边洼地风蚀外，有外来输入物质。区域内典型独立沙丘在单次风况环境下亦表现为堆积，对象沙丘长178.1 m，宽59.3 m，高2.1 m。在风力作用下，沙脊线东北一侧表现风蚀，占总面积的46.98%，风蚀量0.6×10^4 m^3；沙脊线西南一侧表现堆积，占总面积53.02%，堆积量0.62×10^4 m^3，与整个区域蚀积形态表现一致均为堆积。

在秋冬季节由于区域降水和冰川融水减少，黄河径流量也随之减小，夏季被水淹没的河床出露，多为松散冲积物，在风力作用下随风移动，为区域沙化提供了丰富沙物质[3,5]。鉴于此，作者沿黄河出露河床向两岸依次采样，分析其粒度特征，揭示复杂沙化类型周边区域沉积物分异规律(表3)。河床沉积物粒径组成以粗沙、中沙和细沙为主，百分比分别为22.9%、51.25%和11.78%。河漫滩沉积物粗沙和中沙体积百分比较河床沉积物小。粗沙百分比由22.9%下降至4.36%，中沙百分比由51.25%下降至40.81%，细沙百分比则由11.78%增加至37.98%。I级阶地和II级阶地沉积物中粗沙和中沙占比进一步降低。其中，粗沙比例由4.36%降低至

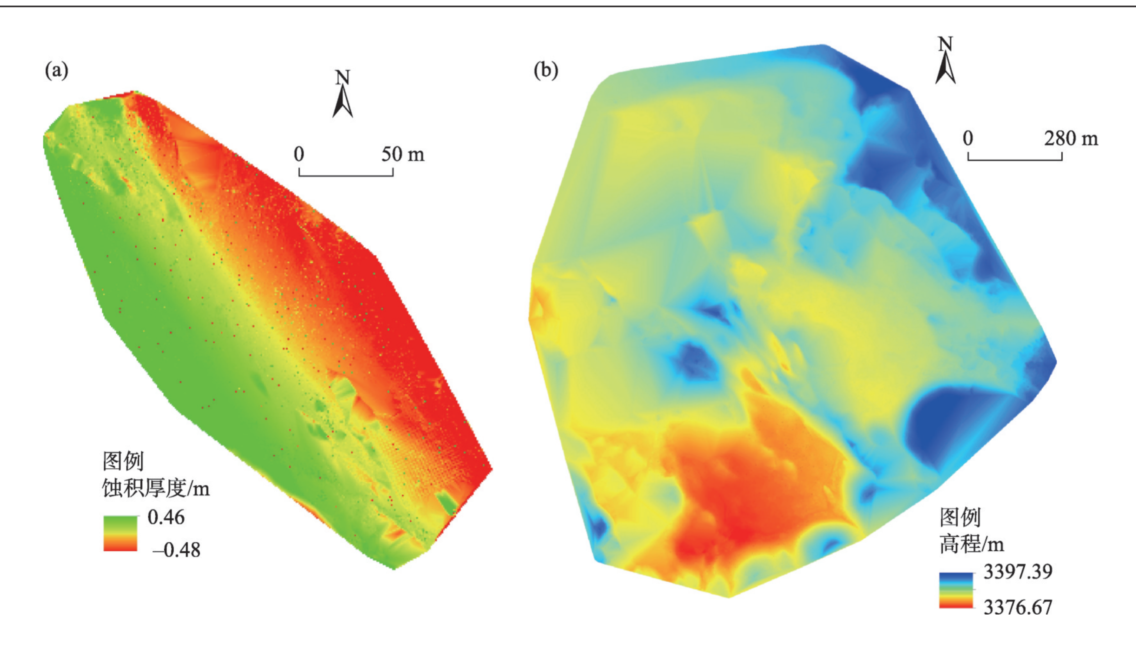


图5 复杂沙化类型

Fig. 5 The type of complex desertification

表3 沉积物粒度分布

Tab. 3 Grain size of sediment along the river terrace

位置	粒径/mm					
	粗沙 0.5~1	中沙 0.25~0.5	细沙 0.125~0.25	极细沙 0.063~0.125	粉沙 0.002~0.063	黏土 <0.002
河床	22.90	51.25	11.78	4.18	8.97	0.92
河漫滩	4.36	40.81	37.98	9.60	6.98	0.27
I级阶地	2.98	37.19	38.15	8.88	10.70	2.10
II级阶地	0.04	11.09	34.03	30.14	23.17	1.53

2.98%和0.04%,中沙比例由40.81%降低至37.19%和11.09%。I级阶地和II级阶地沉积物细沙比例分别为38.15%和34.03%,相差较小。极细沙和粉沙百分比明显增加,极细沙比例由9.6%增加至30.14%,粉沙比例由6.98%增加至23.17%。沿河床向阶地方向,粗沙和中沙比例降低,极细沙和粉沙比例增加,即沉积物在其运移过程中不仅受到水流作用影响,风力作用在物质迁移过程中亦发挥着一定作用,细物质在其作用下由河道向两侧运移。

利用图解法,依据Folk and Ward分选标准[19],计算上述沉积物的平均粒径、分选系数、偏度和峰度,如表4所示。沿河道向两侧阶地方向,随着高程增加,沉积物平均粒径逐渐减小,平均粒径由河床的329.35 μm减小至105.62 μm。分选系数集中0.93~1.46区间,分选性中等和较差。偏度系数分别为0.45、0.27、0.46和0.29,属于极正偏和正偏,粒径偏粗。峰度系数集中1.31~2.28范围内,属于较窄和窄范围,分布相对集中。

综上复杂沙化类型区域及典型沙丘蚀积变化、沉积物粒度特征,可知在现代沙化过程中,周边风

表4 沉积物粒度特征参数

Tab. 4 Grain size parameter of sediment along the river terrace

位置	平均粒径/μm	分选系数	分选性	偏度		峰度	
河床	329.35	1.21	较差	0.45	极正偏	2.21	较窄
河漫滩	222.28	0.93	中等	0.27	正偏	1.31	窄
I级阶地	195.87	1.46	较差	0.46	极正偏	2.28	较窄
II级阶地	105.62	1.31	较差	0.29	正偏	1.31	窄

蚀洼地、活化沙丘是复杂沙化类型区域积沙的主要贡献者,但黄河河道也为区域沙化提供一定数量的沙物质。

3 结论与讨论

研究结果表明,研究区无论是月平均风速或是月平均起沙风速,夏季平均风速最小,秋季和冬季高于夏季,2月和4月取得峰值后逐渐减小。秋冬季由于草甸枯黄,加之牛羊啃食,植被其对表层土壤保护作用与生长季相比薄弱,导致大量松散物质出露,在风力作用下造成区域沙化加剧。区域全年输沙势164.34 VU,合成输沙势91.57 VU,合成输沙方向132.37°,风向变率0.56,属于中比率低风能环境。依据区域沙物质贡献的复杂程度,本文将沿黄带状沙化区细分为风蚀坑沙化类型和复杂沙化类型,其中风蚀坑沙化类型特征是沙丘孤立,面积略小,上风向有一风蚀坑,长轴线走向与区域主风向、风蚀区和积沙区长度比、体积等形态参数及沙物质粒度特征吻合度较高,沙化过程相对简单,沙物质主要来源于风蚀坑;复杂沙化类型沙丘集中连片分布,面积较前者大,成因包括沙丘活化、区域风蚀、热熔滑塌等,沙丘物质来源包括周边活化沙丘、风蚀地、沙化草地等,与前者相比,复杂沙化类型沙物质来源较广,沙化过程复杂多样。在现代沙化过程中,周边风蚀洼地仍是复杂沙化类型区域积沙的主要贡献者,但黄河河道也为区域沙化提供一定数量沙物质。

基于上述研究成果,针对区域的防沙治沙建议如下:针对风蚀坑沙化类型,在治理流动沙丘的同时,需加强上风向风蚀坑治理,从源头上切断沙源。针对复杂沙化类型,在对周边区域设置治沙工程和生态恢复工程的同时,应在其上风向河道附近设置合理的防护措施,阻滞沙源从河道向两岸移动,减轻下风向沙化草甸和流动沙丘的治理难度。

参考文献(References):

[1] Oreskes N. The scientific consensus on climate change[J]. Science, 2004, 306: 1689.

[2] 安志山, 张克存, 屈建军, 等. 青藏铁路沿线风沙灾害特点及成因分析[J]. 水土保持研究, 2014, 1(2): 286-289. [An Zhishan, Zhang Kecun, Qu Jianjun, et al. Sand hazard characteristics and genetic analysis along the Qinghai-Tibet Railway[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 1(2): 286-289.]

[3] 逯军峰, 董治宝, 胡光印, 等. 甘肃省玛曲县土地沙漠化发展及其成因分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 604-609. [Lu Junfeng, Dong Zhibao, Hu Guangyin, et al. Aeolian desertification development and its causes in Maqu County of Gansu Province, China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 604-609.]

[4] 汪晓菲, 何平, 康文星. 若尔盖县高原草地沙化成因分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(3): 100-106. [Wang Xiaofei, He Ping, Kang Wenxing. Analysis on factors in the formation of grassland desertification in Ruoergai plateau[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technolgy, 2015, 35(3): 100-106.]

[5] 姚正毅, 李晓英, 董治宝. 黄河源区玛多县沙漠化成因与发展过程[J]. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1245-1256. [Yao Zhengyi, Li Xiaoying, Dong Zhibao. Causes and processes of desertification in Madoi County in the source regions of the Yellow River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(5): 1245-1256.]

[6] 姚正毅, 李晓英, 董治宝. 鼠害在若尔盖草原沙漠化进程中的作用与机理[J]. 中国沙漠, 2017, 37(6): 1093-1101. [Yao Zhengyi, Li Xiaoying, Dong Zhibao. The role and mechanism of rodents in formation processes of aeolian desertification in the Zoige Grassland[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(6): 1093-1101.]

[7] 袁宏波, 王辉, 李晓兵, 等. 玛曲县天然草地沙化动态及现状分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(1): 73-78. [Yuan Hongbo, Wang Hui, Li Xiaobing, et al. Analysis on desertification dynamics and present situation of the natural grassland in Maqu County [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2006, 41(1): 73-78.]

[8] 胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 黄河源区1975-2005年沙漠化时空演变及其成因分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1079-1086. [Hu Guangyin, Dong Zhibao, Lu Junfeng, et al. Spatial and temporal changes of desertification land and its influence factors in source reion of the Yellow River from 1975 to 2005[J]. Journal of DesertESERT Research, 2011, 31(5): 1079-1086.]

[9] 盛海洋, 杨雪俊, 百宪洲, 等. 甘南玛曲县草地沙化遥感监测研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 67-70. [Sheng Haiyang, Yang Xuejun, Bai Xianzhou, et al. The romote sensing interpreter study on grassland desertification in Maqu County in South Gansu Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(5): 67-70.]

[10] 马寅生, 施炜, 吴满路, 等. 黄河源区1000年以来的环境演化[J]. 地质通报, 2004(增刊2): 1012-1017. [Ma Yinsheng, Shi Wei, Wu Manlu, et al. Environmental evolution in the Yellow River source area in the past 1000 years[J]. Geological Bulletin of China, 2004(Suppl. 2): 1012-1017.]

[11] Fryberger S G. Dune form and wind regime[C]//Mckee E D. A Study of Global Sand Seas. US Geological Survey Professional Paper, 1979: 137-169.

[12] Hesp P A, Pringle A. Wind flow and topographic steering within a trough blowout[J]. Journal of Coastal Research, 2001, 34: 597-601.

[13] Hesp P A. Flow dynamics in a trough blowout[J]. Boundary Layer Meteorology, 1996, 77: 305-330.

[14] 闫德仁. 浑善达克沙地风蚀坑形态特征及其影响因素[J]. 地理

科学, 2016, 36(4): 637−642. [Yan Deren. Impact factors and morphological characteristics of blowouts in Hunshandake Sandland [J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(4): 637−642.]
[15] 张惜伟, 汪季, 海春兴, 等. 呼伦贝尔沙质草原风蚀坑地表风沙流结构特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(6): 1505−1511. [Zhang Xiwei, Wang Ji, Hai Chunxing, et al. Structure of drifting sand flow over the surface of blowouts in the Hulun Buir Sandy Grasslands[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(6): 1505−1511.]
[16] 李双权, 哈斯, 马玉凤, 等. 沙质草地风蚀坑动态演变特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 955−960. [Li Shuangquan, Hasi Eerdun, Ma Yufeng, et al. Dynamic evolution of blowouts in sandy grassland[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(5): 955−960.]
[17] 魏振海, 董治宝, 胡光阴, 等. 若尔盖盆地沙丘形成分布影响因素探讨[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1035−1042. [Wei Zhenhai, Dong Zhibao, Hu Guangyin, et al. Impacts factors to formation and distribution of sand dunes in Zoige Basin[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(6): 1035−1042.]
[18] 王中原, 罗万银, 董治宝, 等. 共和盆地高寒草原风蚀坑表层沉积物粒度特征及动力学意义[J]. 中国沙漠, 2017, 37(1): 7−16. [Wang Zhongyuan, Luo Wanyin, Dong Zhibao, et al. Grain size characteristics of the blowout surface sediments and its aerodynamic significance in the alpine meadow region of the Gonghe Basin[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(1): 7−16.]
[19] Blott S J, Pye K. , Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2001, 26(11): 1237−1248.

Sand environment and type during sandy desertification of an alpine meadow

AN Zhishan[1,2], SHI Boyuan[3], TAN Lihai[1], ZHANG Kai[3], ZHANG Kecun[1]

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Desert and Desertification, Dunhuang Gobi and Desert Research Station, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Innovative Entrepreneurship Institute, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Alpine meadow desertification in Maqu County is a typical case of desertification in the alpine and humid regions of China. The causes, trends, and management of desertification have received considerable attention; however, due to the limitations of research methods and other factors, the precise positioning of sand sources is still unclear. Here, we combined a three-dimensional laser scanner with traditional methods, such as field surveys and indoor analysis, to locate sand sources accurately from a morphological perspective. The results showed that the regional annual sand drift potential was 164.34 VU, synthetic sand transport potential was 91.57 VU, synthetic sand transport direction was 132.37°, and wind direction variability was 0.56, which belonged to a medium-ratio low wind energy environment. According to the complexity of the contribution of regional sand material, this paper further subdivides the sandy zone along the Yellow River into two types: blowout desertification and complex desertification. The blowout desertification was characterized by isolated sand dunes with a slightly smaller area and wind erosion blowout in the upwind direction. The long axis direction was highly consistent with the regional main wind direction, the length ratio of the wind erosion area and sand accumulation area, volume and other morphological parameters, and the special diagnosis of sand material particle size. The desertification process was relatively simple. Also, the sand material mainly came from wind erosion blowout. The complex desertification area was larger than the blowout desertification area. The causes of desertification include dune activation, regional wind erosion, thermal melt slump. The sources of dune material include surrounding activated dunes, wind erosion land, desertified grassland. Compared with the former, the sand source of complex desertification was relatively wide, and the desertification process was complex and diverse. In modern desertification, the wind-eroded depressions around the region were still the main contributors of sand accumulation in the complex desertification type. At the same time, the Yellow River also provides some amount of sand material for regional desertification.

Keywords: Maqu country; alpine meadow; 3-D laser scanner; sandy desertification; morphology